

## ПРИМЕНЕНИЕ МЕМРИСТОРОВ В ПАМЯТИ И КОМПЬЮТЕРНОЙ АРХИТЕКТУРЕ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

Прокопюк С.Ю., Казиев А.Б.  
Томский Политехнический Университет  
Jedi4334@gmail.com

Жизнь человека в 21-ом веке невозможно представить без информационных технологий во всем их многообразии. Вычислительная техника используется для работы, проведения досуга, общения, функционирования коммунальных и транспортных систем, проведения научных исследований и многого другого. Именно по причине такого интенсивного применения компьютерных технологий возникает проблема их усовершенствования в ногу с постоянно развивающимся информационным обществом современности. Данная работа посвящена разработке, способной революционизировать технологии, которыми мы пользуемся в повседневной жизни. Речь идёт о мемристоре – принципиально новом, четвёртом базовом типе элемента электротехники, который открывает перед нами возможности, выходящие далеко за пределы тех, что способны предоставить нам хорошо знакомые резисторы, конденсаторы и катушки – представители трёх классических элементов.

Слово memristor образовано от сочетания английских слов memory и resistor, означающих «память» и «электрическое сопротивление» соответственно [1]. В отличие от классических элементов, которые демонстрируют постоянный отклик на внешние сигналы, мемристор способен запоминать воздействия, приложенные к нему ранее, и, таким образом, может хранить информацию. Перспективы применения такого элемента обширны – от скорого создания искусственного интеллекта до появления устройств памяти нового поколения, которые уже на сегодняшнем этапе разработок сверхэффективны и сверхкомпактны по сравнению с классической DRAM и Flash-памятью. Концепцию мемристора ввёл в 1971 году Леон Чуа, профессор Кафедры электротехники и компьютерных технологий Калифорнийского университета [2], однако первый лабораторный образец мемристора был создан только в 2008 году в исследовательской лаборатории фирмы Hewlett-Packard коллективом учёных во главе с Р.С. Уильямсом. В настоящее время фирма взяла эту технологию на вооружение и находится на передовом крае разработок в данной области.

Память, построенная на основе мемристоров, называется RRAM или ReRAM, что является сокращением от Resistive random-access memory, резистивная память с произвольным доступом. Чтобы понять принцип её работы, необходимо рассмотреть механизм работы самого мемристора.

Принцип работы мемристора довольно прост. Массив мемристоров в общем случае – это два слоя токопроводящих проводников, пересекающихся под прямым углом. В местах пересечения верхних и нижних проводников находятся небольшие вкрапления из двух наложенных друг на друга слоёв диоксида титана. Нижний слой содержит избыток кислорода и обладает огромным сопротивлением току, в то время как верхний содержит дефицит кислорода и является токопроводящим. Прилагая достаточное напряжение между слоями, можно привести в действие диффузию кислорода из нижнего слоя в верхний и изменить структуру диоксида титана, уменьшив сопротивление нижнего слоя в миллионы раз. При этом изменившаяся проводимость слоёв останется такой до тех пор, пока не будет приложено обратное сопротивление. Таким образом реализуется энергонезависимое хранение информации.

Регулируя уровень насыщения нижнего слоя кислородом, можно изменять сопротивление каждого элемента плавно, что позволяет использовать элементы не только в цифровом, но и в аналоговом режиме. Более того, по утверждению разработчиков фирмы Hewlett Packard, переключать состояние слоёв можно до бесконечности, ведь главное преимущество мемристора в том, что он не хранит свои свойства в виде заряда, что устраняет угрозу утечек заряда, а также обуславливает его энергонезависимость. Иными словами, данные хранятся в мемристоре до тех пор, пока не прекратят своё существование сами материалы, из которых он изготовлен. Это позволяет надеяться, что наше сверхкомпактное и сверхбыстрое RRAM устройство будет вырабатывать свой ресурс очень и очень долго [3].

Конструктивно мемристоры состоят из тонкой плёнки из двух вышеописанных слоёв, которая расположена между двумя платиновыми электродами, что, очевидно, значительно проще структуры классической Flash-памяти. Приведём сравнение эффективности ячейки памяти традиционной Flash-технологии и памяти RRAM. Исследование было проведено в июле прошлого года на основе ячейки RRAM, произведённой научно-образовательным центром «Нанотехнологии» и Центром корпоративного предпринимательства МФТИ. По полученным данным количество циклов перезаписи ячейки RRAM на два порядка превысило данный параметр ячейки Flash-памяти ( $10^7$  против  $10^5$ ), в то время как время перезаписи, напротив, оказалось на два порядка меньше (0.1

микросекунды против 10 микросекунд). При этом затраты энергии уменьшились в от сотни до тысячи раз [4].

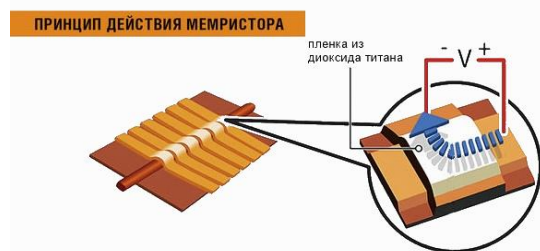


Рис. 1. принцип действия мемристора

Следует отметить, что на сегодняшний день разработками в этой области занимается не только Hewlett-Packard. К примеру, в американском Университете Райса такие же элементы памяти создают на основе не диоксида титана, а более дешёвого оксида кремния, который можно получить из обычного песка, а в американском Национальном институте стандартов и технологии была разработана технология изготовления гибких элементов памяти, в которой в качестве подложки используется полимерный материал. Разработкой мемристоров в России занимаются МФТИ и Тюменский государственный университет [5].

Изученные свойства мемристоров позволяют говорить о возможности создания на их основе компьютеров принципиально новой архитектуры, значительно превышающих по производительности полупроводниковые. Современные компьютеры, которыми все мы привыкли пользоваться, построены на основе архитектуры фон Неймана, подразумевающей разделение устройств хранения данных от устройств их обработки – вычислительных модулей. Команды при этом выполняются последовательно, друг за другом. Компьютер на базе мемристоров способен моделировать работу человеческого мозга, не имеющего единого центра сбора и обработки информации, ведь каждый его блок и получает, и хранит, и обрабатывает информацию. Таким же образом и работа мемристорного компьютера будет основана на параллельной работе множества модулей, а возможность оперировать множеством значений от нуля до единицы позволит вырваться за границы двоичной логики. Машина станет архитектурно однородным устройством, не нуждающимся в выделенных процессорах, видеочипах или жёстких дисках, и в которой будут одновременно храниться и обрабатываться все данные. По сравнению с

современной техникой, энергопотребление мемристорных машин будет ничтожным, а вычислительная мощность просто гигантской.

Главным препятствием на пути коммерческого распространения мемристорных технологий можно назвать тот факт, что на данный момент они плохо оптимизированы для массового производства в связи с использованием дорогостоящих и редких металлов. Но работы в направлении преодоления этой проблемы уже ведутся, и ведущие компании планируют запуск устройств на основе мемристоров уже в ближайшие годы. Одна только компания Hewlett-Packard инвестировала 75% процентов ресурсов в свои разработки в области памяти RRAM, нейристоров и компьютеров нового поколения на основе мемристорной архитектуры. На сегодняшний день, когда внимание общест-венности приковано к таким популярным областям как создание квантовых компьютеров или сокращение техпроцесса полупроводниковых, возможно, с открытием четвёртого базового элемента электротехники будущее уже наступило.

#### Литература

1. Massimiliano Di Ventra, Yuriy V. Pershin, Leon O. Chua. Circuit elements with memory: memristors, memcapacitors and meminductors.-2009.- [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://arxiv.org/pdf/0901.3682.pdf> (дата обращения 07.10.14)
2. Ершов А. Сайт о нанотехнологиях.- 2013[Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.nanonewsnet.ru/articles/2013/era-printsipialno-novykh-kompyuterov-iz-tsepei-memristorov> (дата обращения 06.10.14)
3. Интернет магазин «Фцентр».- Мемристор HP — транзистор будущего?-2010 [Электронный ресурс]. Режим доступа : <http://fcenter.ru/online/hardnews/2010/04/12> (дата обращения 08.10.14)
4. Информационный портал «SavePearlHarbor».- ReRam — следующий этап развития микроэлектроники.- 2013 [Электронный ресурс]. Режим доступа : <http://savepearlharbor.com/?p=186012> (дата обращения 05.10.14)
5. Сайт Тюменского Государственного Университета – Мемристор – шаг к искусственному интеллекту. Новые разработки ученых ТюмГУ.- 2012 [Электронный ресурс]. Режим доступа : <http://utmn.ru/news/6468> (дата обращения 09.10.14)